

集積回路工学第2

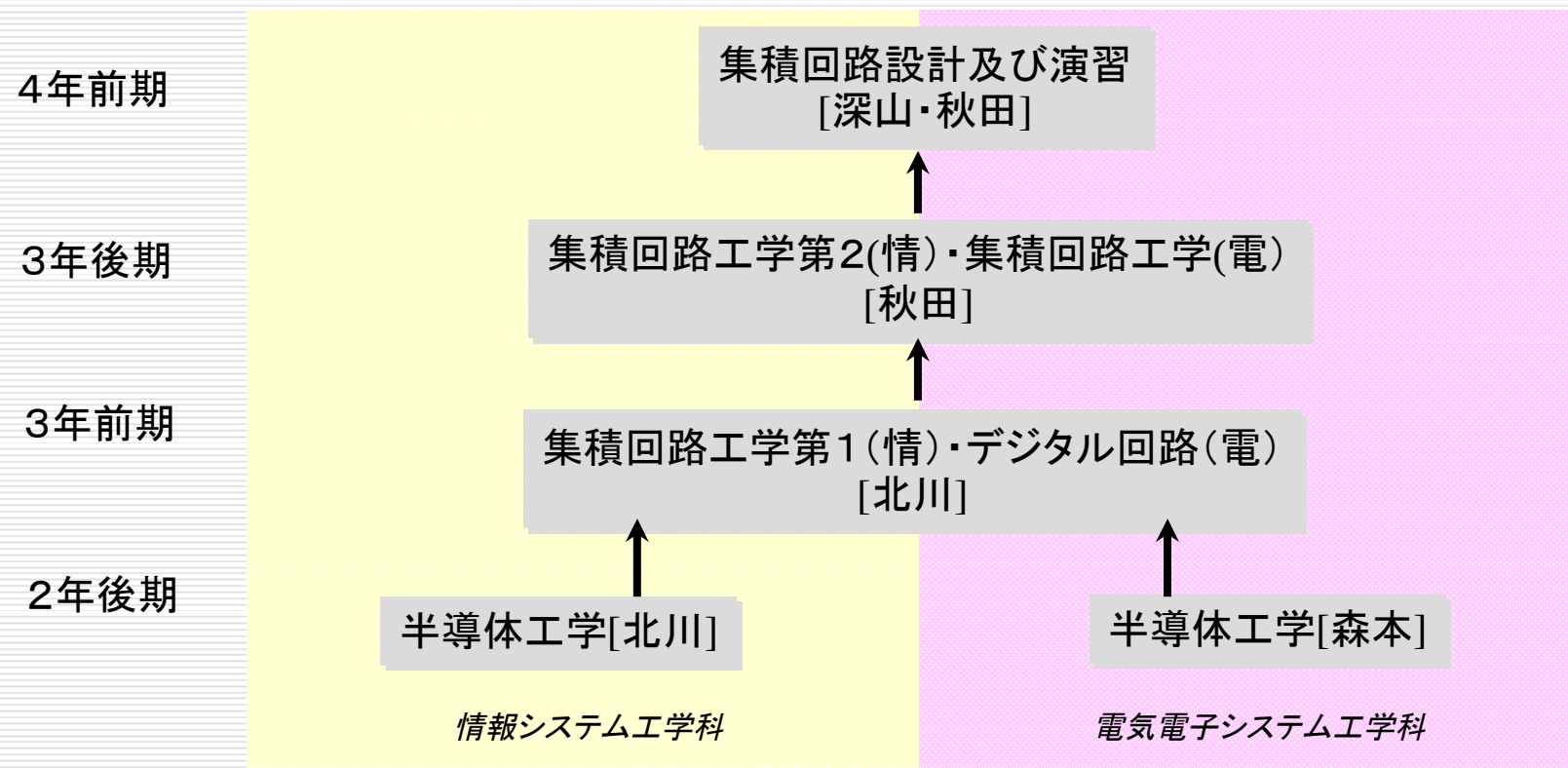
集積回路工学研究室(MeRL)

秋田純一

集積回路



この講義の位置づけ

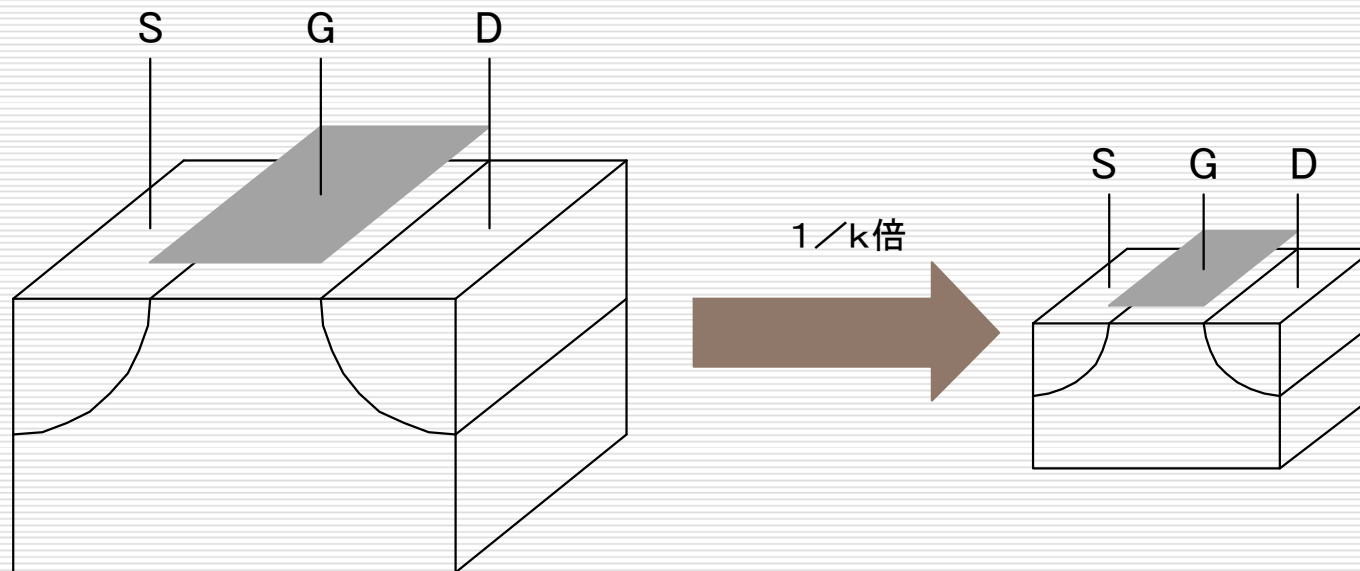


各科目で取り扱う範囲

学期	科目	設計のレベル(表現の抽象度)
4年前期	集積回路設計及び演習	サブ-システムレベル(HDL記述、論理合成、CPU設計)
3年後期	集積回路工学2	サブ-システムレベル(要素回路)
3年前期	集積回路工学1	ゲートレベル・トランジスタレベル(レイアウト設計実習)
	情報システム工学実験2	トランジスタレベル(回路シミュレーション)
2年後期	半導体工学	物理レベル: 製造テクノロジーとT-CAD (プロセスシミュレーション)

スケーリング則

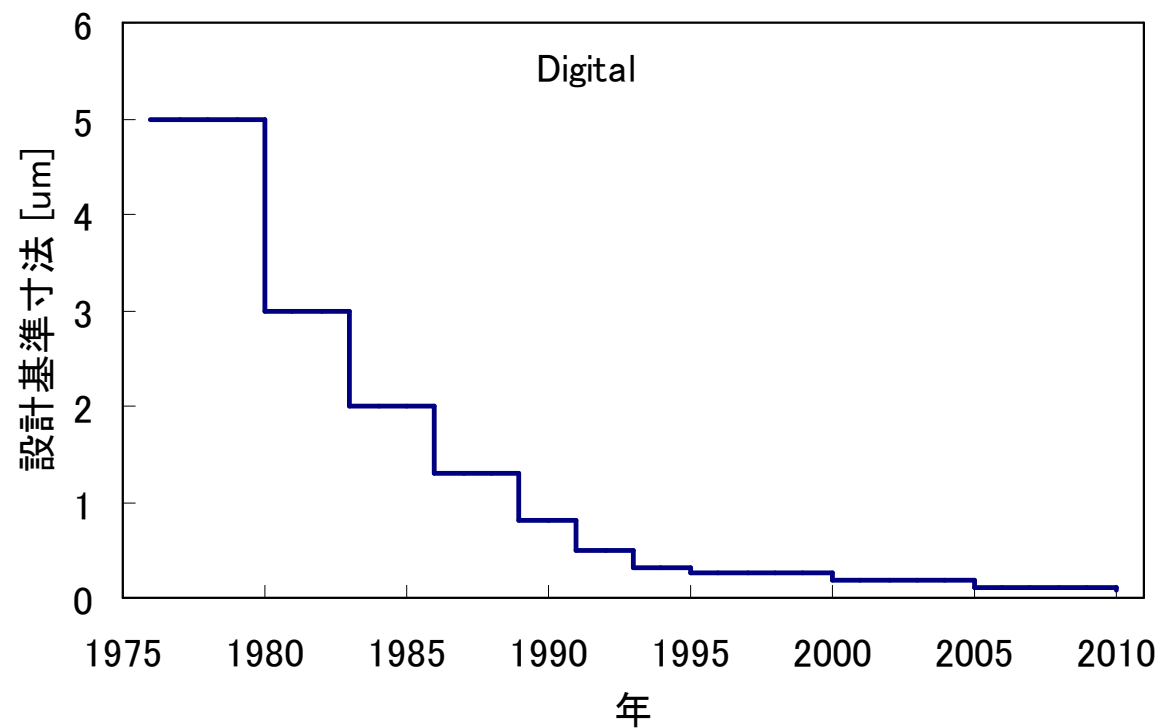
- 集積回路を構成するMOSトランジスタを小さくすると...



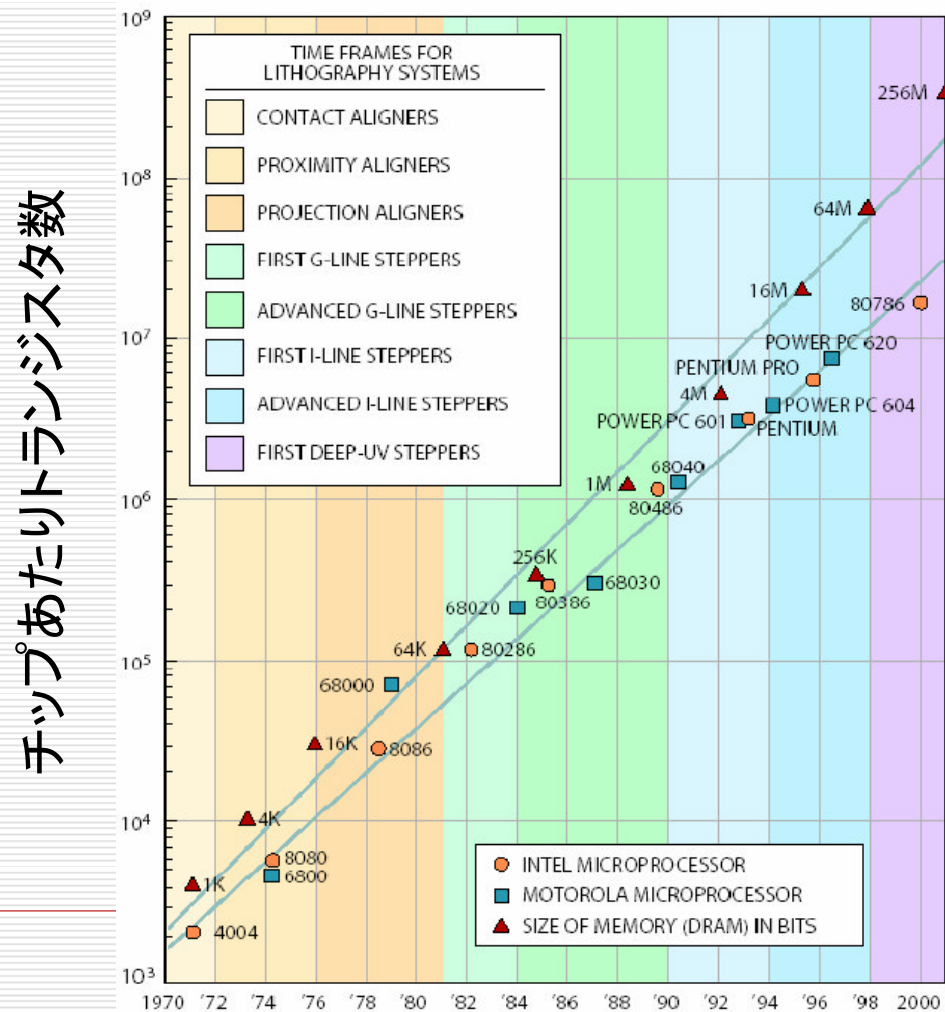
スケーリング則の効果

- 信号遅延 = $1/k$ (高速化)
- 消費電力 = $1/k^2$ (低消費電力化)
- 集積度 = k^2 (高性能化 or 低価格化)

MOSTランジスタ微細化の歴史



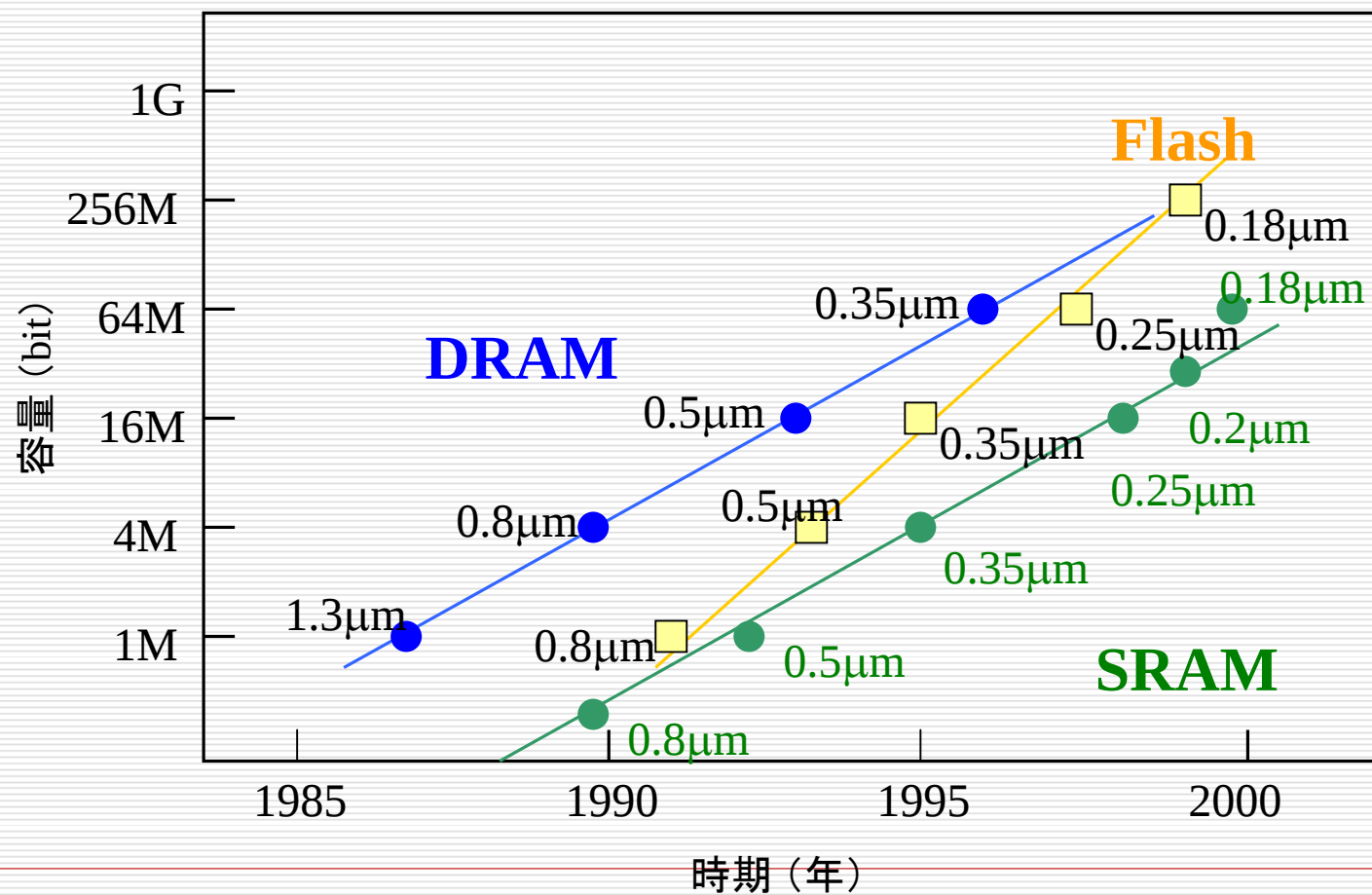
Gordon Moore's Law



年率59%=4/3yearsで集積度増大
(「3年で4倍」)

傾き:
プロセッサ: 1.5/years
メモリ: 1.6/years

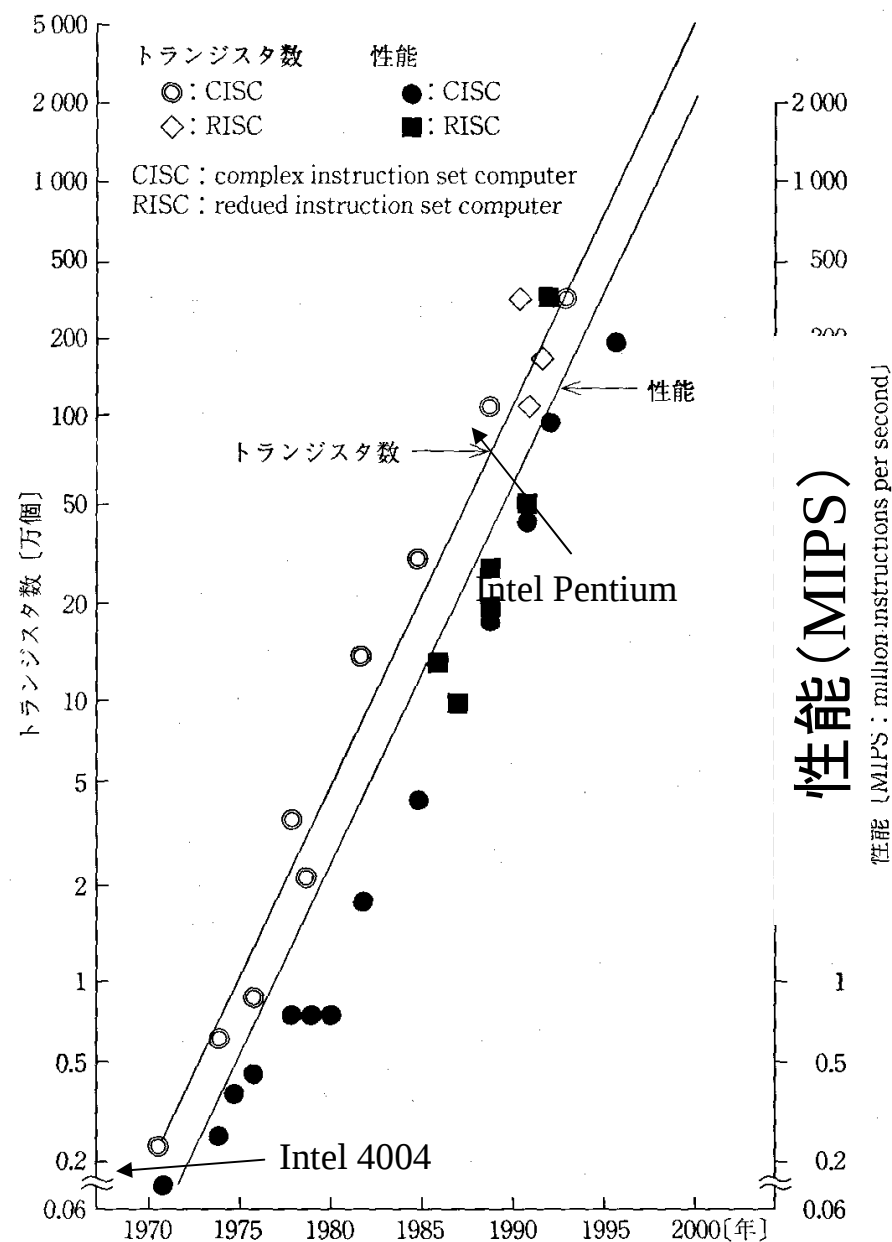
Flashメモリ開発動向



高性能化の歴史

□ プロセッサの規模と性能の推移

トランジスタ数(10⁴個)

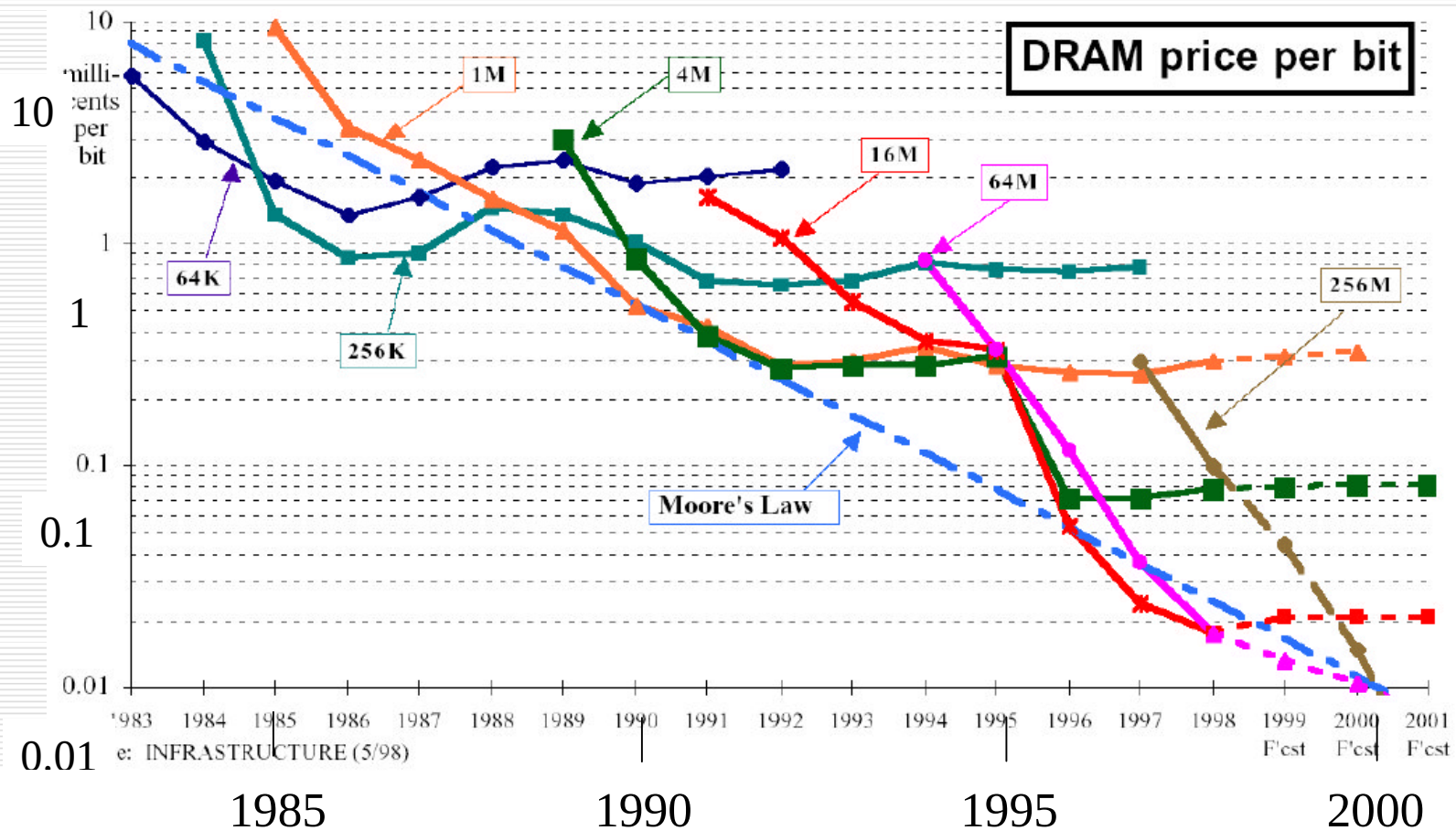


スケーリング則のもたらすもの(その2)

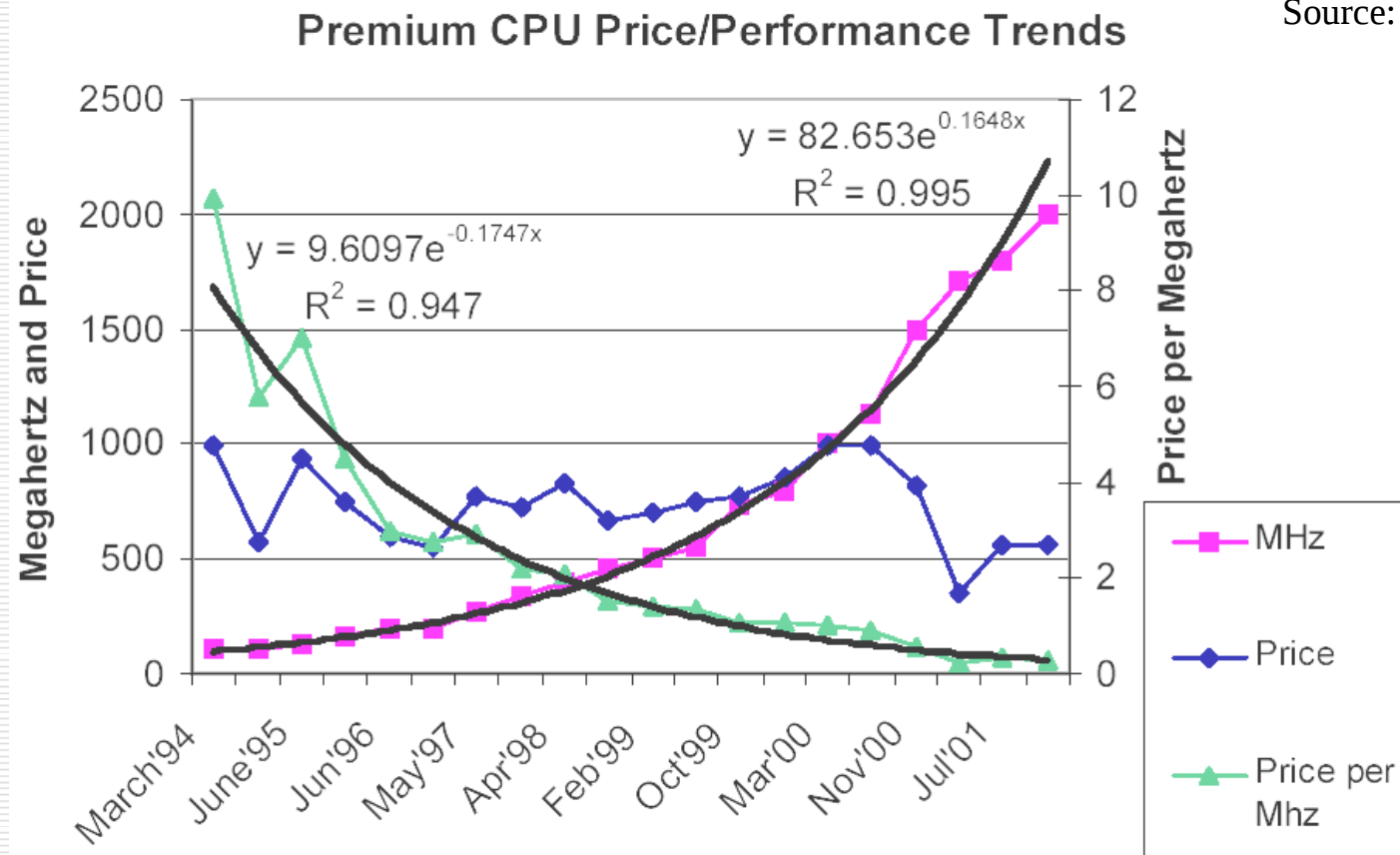
- 機能単価:「価格／機能」
 - スケーリングにより継続的な機能向上が可能
 - 他の産業では見られない特異性

低コスト化(その1:DRAMのビット単価)

Source: IC knowledge



低コスト化 (その2:クロック周波数あたりのプロセッサ価格)



機能単価の低減のみでよいか？

- 否。
- 「機能飢餓」が必要
 - 「より高性能なものが求められている」状態
 - 電子産業は長年この状態にある
- シーズとニーズの両立
 - ユーザ側：機能飢餓
 - メーカー側：スケーリング則によるメリット

集積回路の世界の未来は・・・？

□ ポイント:

- 「機能飢餓」は続くのか？
- スケーリングなどの技術的実現性は続くのか？

Moore's Lawの終わり: 技術面

□ MOSTランジスタの微細化の限界

- MOSTランジスタは原子よりは小さくならない
- $L: \sim 0.1\mu\text{m}(=100\text{nm})$
 $\longleftrightarrow$ Si原子 $\sim 1\text{nm}$
- その他の制限要因
 - 消費電力の増加(もれ電流)
 - 回路規模の増大と設計技術の乖離
- $L: \sim 0.01\mu\text{m}(=10\text{nm})$ (めどはたっている)

Moore's Lawの終わり: ニーズ面

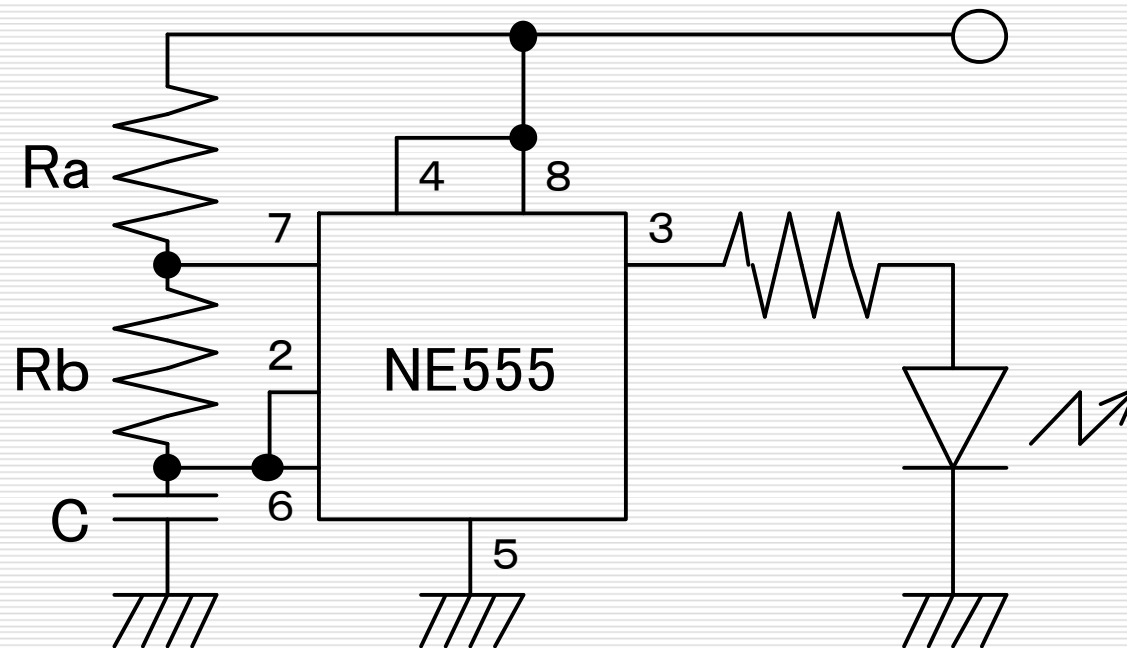
- 果たして、Moore's Lawによる高性能な集積回路は必要なのか？
 - 例) PCの性能？
 - 例) 携帯電話の機能？
 - 技術的要因だけでは決まらない
 - ……これ以上の技術の進歩は必要なのか……？

集積回路の今後に対する別の見方

- 集積回路の製造・設計技術の成熟
 - 高性能な集積回路(MPU, メモリ, ...)
 - 低価格な集積回路(性能はそこそこ)
- 高性能な集積回路:
 - = 最先端の製造技術(工場)
→ (~1000億円以上)
- 低価格な集積回路
 - 性能はそこそこ。しかし...

「LEDを点滅させる回路」(1)

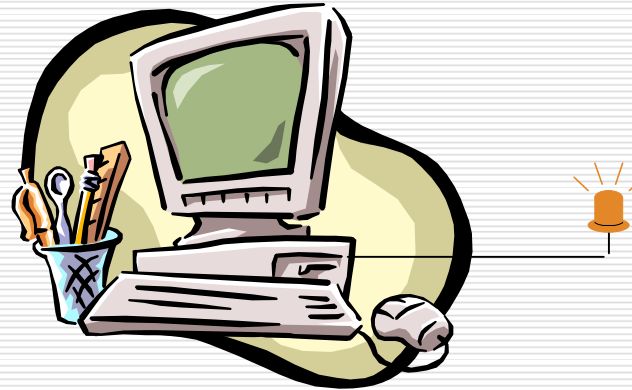
□ 普通的设计方法: 発振回路



「LEDを点滅させる回路」(2)

- PCを使ってもできる…？
 - 可能だが、非現実的…か？

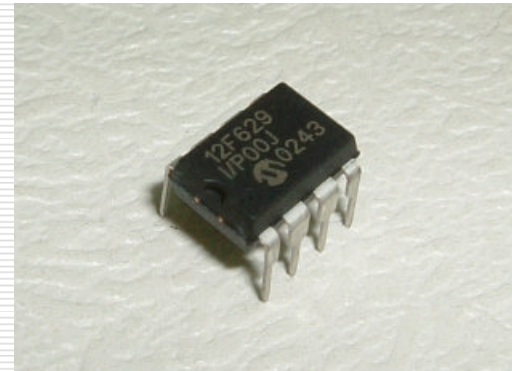
```
while(1){  
    a = 1;  
    sleep(1);  
    a = 0;  
    sleep(1);  
}
```



マイクロコントローラ(MCU:マイコン)

□ マイクロコントローラ (MCU)

- CPU+RAM+ROM+周辺回路を1つのチップに
- CPU: 1~100MIPS
- RAM: 1K~10KB
- ROM: 1K~100KB
- Cost: ~100円程度
- 製造技術は、「非常に」枯れた技術



「LEDを点滅させる回路」(3)

□ 発振回路

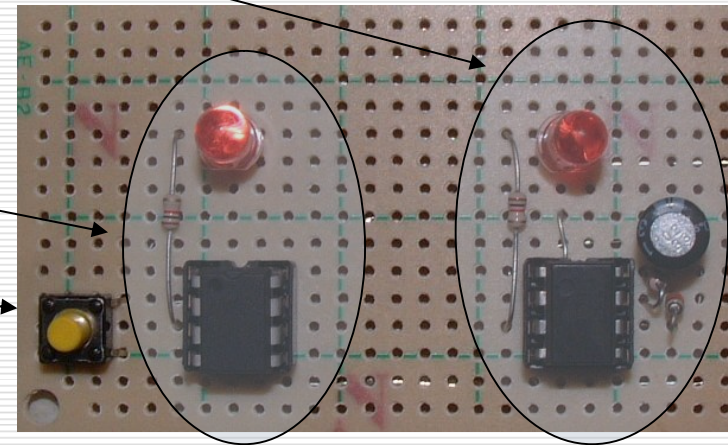
■ $IC(8p) + C \times 1 + R \times 2 = \2

□ MCU

■ $IC(8p) = \$1.5$

■ 多機能

- 点滅速度、点滅パターン
などの変更が容易



MCUを使ったLED点滅回路

- 価格・性能の両面で、現実的な選択肢
- 性能面では、実は高機能にもできる
 - コンピュータを使う！

これからの情報技術と集積回路

□ 「道具」としての集積回路

- 設計技術・製造技術の成熟
- 敷居が下がってきている(学部講義でも扱う！)

□ 情報技術の実現方法としての集積回路

- パソコンを使ってプログラム：
できることは、たかが知っている
(パソコンの枠の中だけの世界)
- 面白いもの・作りたいものを実現したいときに、
道具として活用する(実世界とのつながり)
- (そのための準備としての「集積回路工学」)

金沢大学のVLSI設計教育

- 階層的なカリキュラムによりアルゴリズムから半導体技術動向までを関連づける
- 情報技術関連講義とのリンクをはかり、システムのLSI化を常識のものとする
- VDECを活用し、実習による体得を目指す
(例：自主課題研究「LSI設計コンテスト」)

この講義の予定

- 第1回：VLSI技術動向 (9/29)
- 第2回：加算回路(その1) (10/6)
- 第3回：加算回路(その2) (10/20)
- 第4回：減算回路・ALU (10/27)
- 第5回：乗算回路(その1) (11/10)
- 第6回：乗算回路(その2) (11/17)
- 第7回：マイクロプロセッサ (12/11)
- 第8回：SRAM (12/8)
- 第9回：DRAM (12/15)
- 第10回：ROM (12/22)
- 第11回：演算増幅器 (1/5)
- 第12回：D/A変換器・A/D変換器 (1/19)
- 第13回：高周波回路 (1/26)